

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP04/7524



REC'D 13 AUG 2004
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Gebrauchsmusteranmeldung**

Aktenzeichen: 203 11 346.2

Anmeldetag: 23. Juli 2003

Anmelder/Inhaber: Burgmann Dichtungswerke GmbH & Co KG,
82515 Wolfratshausen/DE

Bezeichnung: Zur gemeinsamen Drehung mit einer Triebwerks-
welle ausgelegter Gleitring einer Gleitringdichtungs-
anordnung für Strahltriebwerke

IPC: F 02 C, F 16 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Gebrauchsmusteranmeldung.

München, den 3. Juni 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Wehner

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.I(a) OR (b)

**Zur gemeinsamen Drehung mit einer Triebwerkswelle ausgelegter Gleitring einer
Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke**

Die Erfindung betrifft einen zur gemeinsamen Drehung mit einer Triebwerkswelle ausgelegten Gleitring einer Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke, insbesondere solcher für den Flugzeugbau.

Sofern bei Flugzeug-Strahltriebwerken zur Abdichtung der Turbinen- und sonstigen Wellen Gleitringdichtungen zum Einsatz kommen, ist eine wesentliche Anforderung an derartige Dichtungen, dass ausreichend duktile Materialien vorgesehen sind, um Sprödbrüche unter den einwirkenden hohen Zentrifugalkräften und eine damit verbundene Gefahr der Beschädigung von Triebwerksteilen durch umherfliegende Splitterteile zu vermeiden. Entsprechend dieser Anforderung ist man zwar in der Wahl eines für den stationären Gleitring geeigneten Materials vergleichsweise frei, doch bestand bislang die Notwendigkeit, für den rotierenden Gleitring ausschliesslich ein Stahlmaterial wegen dessen ausreichender Duktilität und damit fehlender Sprödbruchneigung zu verwenden. Die rotierenden Gleitringe bekannter Gleitringdichtungen im Flugzeugtriebwerksbau sind daher entsprechend schwer, zumal die im Flugzeugtriebwerksbau zum Einsatz kommenden Gleitringe vergleichsweise grosse Abmessungen haben müssen. Andererseits ist Leichtbau ein wesentliches Gestaltungskriterium im Flugzeubau schlechthin und im Triebwerksbau speziell, wobei als Anhaltswert gilt, dass eine Gewichtseinsparung bei einem Strahltriebwerk von

einem Kilogramm z.B. 10^6 EUR Entwicklungskosten erforderlich macht. Angesichts dessen spielen die reinen Materialkosten eine untergeordnete Rolle.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ohne Einbusse an Sicherheit, insbesondere gegen Sprödbruch, und unter zumindest Aufrechterhaltung der bisherigen sonstigen Betriebsanforderungen eine wesentliche Gewichtsreduzierung bei Gleitringdichtungen zum Einsatz in Flugzeugstrahltriebwerken zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst und damit ein dringender Bedarf im Flugzeug-Strahtriebwerksbau befriedigt, dass der rotierende Gleitring einer Gleitringdichtungsanordnung zum Einsatz auf diesem Gebiet aus einem ein faserverstärktes Keramikmaterial umfassenden Verbundmaterial gebildet ist. Dabei handelt es sich vorzugsweise um ein Verbundmaterial mit Kohle- oder SiC-Fasern als Verstärkungfasern, die in einem SiC-Keramikmaterial eingebettet sind. Ein derartiges Verbundmaterial hat eine ausreichende Festigkeit und Duktilität, um unter den im Strahltriebwerksbau herrschenden Betriebsbedingungen, die insbesondere durch hohe Drehgeschwindigkeiten der abzudichtenden Wellen geprägt sind, eine gegenüber Stahlgleitringen gleich gute, wenn nicht sogar bessere Sicherheit gegen Sprödbruch zu gewährleisten. Hinzu kommt ein verbessertes Verschleissverhalten wegen der inherenten Verschleissfestigkeit des SiC-Matrixmaterials der Verbundgleitrings und eine Vereinfachung der Konstruktion einer damit ausgestatteten Gleitringdichtungsanordnung, da auf bei Stahlgleitringen vorzusehende Kühlmaßnahmen verzichtet werden kann. Ein primärer Vorteil der erfindungsmässen Verbundgleitrings ist jedoch deren erheblich geringeres Gewicht gegenüber Gleitringen aus einem Stahlmaterial, wodurch erhebliche Entwicklungskosten eingespart werden können. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verbundgleitrings sind in den Unteransprüchen aufgeführt. Zwar hat man im Automobilbau schon vorgeschlagen, Kohlenfaser-verstärkte SiC-Keramik für Bremsscheiben vorzusehen, doch stand dabei in erster Linie die Temperaturbeständigkeit und Verschleissfestigkeit des Verbundmaterials im Vordergrund. Das Verhalten derartiger Verbundmaterialien unter

hohen Drehgeschwindigkeiten wurde nicht überprüft. Eine erfindungsgemäße gasgeschmierte Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke umfasst wenigstens ein Paar zusammenwirkende Gleitringe, von denen einer zur drehfesten Montage an einem stationären Bauteil, wie dem Triebwerksgehäuse, und der andere zur gemeinsamen Drehung mit einer Triebwerkswelle ausgelegt ist, wobei erfindungsgemäß eine Werkstoffpaarung für die Gleitringe vorgesehen ist, die ein reibungsminimierend wirksames Material, wie ein Kohlenstoffmaterial, für den stationären Gleitring und ein erfindungsgemässes Verbundmaterial für den rotierenden Gleitring umfasst.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsformen und Abbildungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine fotografische Abbildung eines rotierenden Gleitringes gemäß der Erfindung bei Betrachtung seitens einer seiner Stirnflächen,

Fig. 2 in einer geschnittenen Ansicht eine Gleitringdichtungsanordnung, ausgestattet mit einem rotierenden Gleitring nach der Erfindung, im Zustand des Einbaus in einem schematisch angedeuteten Strahltriebwerk (Teilansicht).

Zunächst wird nachfolgend auf Fig. 2 Bezug genommen. Die darin gezeigte Gleitringdichtungsanordnung umfasst ein Paar zusammenwirkende Gleitringe 1, 2, von denen der eine Gleitring 1 in der erfindungsgemäßen Weise ausgebildet ist, worauf später mit weiteren Details eingegangen wird. Dieser Gleitring 1 ist zur gemeinsamen Drehung mit einer Triebwerkswelle 3 bzw. einer darauf aufgesetzten Buchse 4 vorgesehen. Zur Übertragung der Drehkraft von der Buchse 4 auf den Gleitring 1 ist eine Mitnehmeranordnung 5 vorgesehen, die in Gestalt eines oder mehrerer von der Buchse 4 in dazu ausgerichtete Bohrungen im Gleitring 1 sich erstreckender Mitnehmerstifte ausgebildet sein kann. Andere Mitnehmeranordnungen können

ebenfalls vorgesehen sein. Der Gleitring 1 ist gegenüber der Buchse 4 durch eine geeignete Sekundärdichtung abgedichtet, wie dies bei 6 angedeutet ist.

Der andere Gleitring 2 ist in Bezug auf ein Dichtungsgehäuse 7 drehfest, jedoch axial beweglich gehalten. Eine Vorspanneinrichtung 8 in Gestalt einer oder mehrerer Axialdruckfedern, die sich mit einem Ende am Dichtungsgehäuse 7 und am anderen Ende an einem darin axial beweglich gehaltenen Kraftübertragungsglied 9 abstützen, ist vorgesehen, um den Gleitring 2 gegen den rotierenden Gleitring 1 mit einer axialen Vorspannkraft zu beaufschlagen. Bei 10 ist eine Sekundärdichtung zur Abdichtung des Gleitringes 2 gegenüber dem Dichtungsgehäuse 7 angedeutet. Das Dichtungsgehäuse 7 kann an einem Triebwerksgehäuse 11, wie dies bei 12 angedeutet ist, in geeigneter Weise befestigt, z.B. angeschraubt sein.

Die Gleitringe 1, 2 haben einander zugewandte Gleitflächen 13, 14, zwischen denen bei Betrieb ein Dichtspalt gebildet wird, um einen Bereich aussenumfänglich gegenüber einem Bereich innenumfänglich der Gleitflächen 13, 14 abzudichten. Die Dichtspaltbildung kann durch förderwirksame Strukturen 20 in einer oder beiden Gleitflächen 13, 14, vorzugsweise in der Gleitfläche 13 des rotierenden Gleitringes 1, unterstützt werden. Bezüglich weiterer Details zum Aufbau und zur Wirkung derartiger förderwirksamer Strukturen 20 kann z.B. auf BURGMANN, Gasgeschmierte Gleitringdichtungen, Selbstverlag 1997, Seiten 16 bis 23 verwiesen werden.

Aufgrund der reibungsminimierenden Eigenschaft und der ausreichenden thermischen und mechanischen Beständigkeit bzw. Festigkeit besteht der drehfeste Gleitring vorzugsweise aus einem Kohlenstoffmaterial. Geeignete Kohlenstoffmaterialien sind in BURGMANN, ABC der Gleitringdichtung, Selbstverlag 1988, Seiten 269-270 beschrieben. Andere geeignete reibungsminimierende Materialien können ebenfalls für den drehfesten Gleitring 2 vorgesehen werden.

Bei der erfindungsgemässen Gleitringdichtungsanordnung kommt die Gleitringpaarung ohne Einsatz eines Stahlmaterials aus, das bislang wenigstens für den rotierenden Gleitring 1 aus Sicherheitsgründen für erforderlich gehalten wurde. Der rotierende Gleitring 1 besteht vielmehr erfindungsgemäss aus einem metallfreien Verbundmaterial, das aus einem faserverstärkten Keramikmaterial gebildet ist.

Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform des aus dem Verbundmaterial gebildeten rotierenden Gleitringes 1. Der Gleitring 1 hat danach einen vorzugsweise rechteckförmigen Querschnitt mit äusseren und inneren Umfängen 15, 16 und planen vorderen und hinteren Stirnflächen 17, 18, von denen die in Fig. 1 nur die vordere Stirnfläche 17 gezeigt ist. Diese schafft wenigstens teilweise die Gleitfläche 13. In dem Bereich der Stirnfläche 17, der die Gleitfläche 13 schafft, können nach bekannten Techniken, z.B. mittels Laserabtragtechnik, die förderwirksamen Strukturen 20 (nur einige sind gezeigt) ümfänglich verteilt eingebracht sein, auf die zuvor schon hingewiesen wurde. Bei einem innen mit dem Medium beaufschlagten Gleitring 1 münden die förderwirksamen Strukturen 20, wie zu sehen ist, am inneren Umfang 16 aus. Bei Aussenbeaufschlagung würden sie am äusseren Umfang 15 ausmünden. In jedem Fall erstrecken sich die förderwirksamen Strukturen 20 vom jeweiligen einen Umfang 15 bzw. 16 in Richtung auf den betreffenden anderen Umfang, um in einem geeigneten Abstand dazu zu enden, so dass ein Dammbereich 21, der frei von förderwirksamen Strukturen 20 ist, verbleibt.

Der Gleitring 1 gemäss der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst in einem Siliciumkarbid(SiC)-Matrixmaterial eingebettete Kohlenstoff-Verstärkungsfasern, die sich durch eine hohe thermische Beständigkeit bei gleichzeitig hoher unidirektionaler Zugfestigkeit auszeichnen, wobei sie eine im Vergleich zum SiC-Matrixmaterial wesentlich bessere Duktilität besitzen. Die Duktilität der Kohlefasern wirkt der natürlichen Sprödbruchneigung von SiC wirksam entgegen, indem die überwiegenden mechanischen Beanspruchungen eines mit einem solchem Verbundmaterial ausgestatteten Gleitringes 1 im Wesentlichen von den

Verstärkungsfasern unter Entlastung des SiC-Matrixmaterials aufgenommen werden. Dabei bleibt die hohe Verschleissfestigkeit von SiC praktisch unbeeinträchtigt erhalten.

Die Kohlefasern können in dem SiC-Verbundmaterial in gerichteter oder ungerichteter Form vorgesehen sein.

Im ersten Fall kann es sich um nach einem bestimmten Muster schichtweise zu einer Rohrform gewickelte Fäden oder Rovings aus Kohlefasern handeln, wobei die Fäden einer Schicht sich mit den Fäden einer benachbarten Schicht kreuzen können, oder es handelt sich um in dem SiC-Verbundmaterial eingebettete vorgefertigte übereinandergeschichtete Gelege oder Gewebe aus gerichteten Kohlefaserfäden, wie dies in Fig. 1 bei 19 zu erkennen ist. Die in Fig. 1 ersichtliche Ausrichtung der Fäden ist nicht zwingend. Es können auch andere geeignete Fadenausrichtungen vorgesehen sein, z.B. eine überwiegend umfangliche Ausrichtung.

Ein aus gerichteten Kohlefasern verstärktes SiC-Verbundmaterial zeichnet sich durch eine besonders hohe mechanische Festigkeit in Faserrichtung aus und wird deshalb bevorzugt für Gleitringe 1 herangezogen, die zum Einsatz bei Gleitringdichtungsanordnungen im Hochdrehzahlbereich eines Strahltriebwerkes vorgesehen sind, wo hohe bis sehr hohe Zentrifugalkräfte auf den Gleitring 1 einwirken können, zumal die radialen Abmessungen der Gleitringe 1 vergleichsweise gross sind und diese z.B. einen mittleren Durchmesser von 150 mm und mehr haben können.

Vorzugsweise kann ferner wenigsten die vordere Stirnfläche 17 des Gleitringes 1, die die Gleitfläche 13 vorsieht, mit einer Deckschicht (nicht gezeigt) aus einem mit Kohlefasern von vergleichsweise kurzer Länge verstärkten SiC-Verbundmaterial bedeckt sein, bei dem die Kohlefasern in ungerichteter Form vorliegen. Die Deckschicht kann eine Schichtdicke zwischen 0,1 und 1,0 mm, vorzugsweise 0,25 und 0,5 mm haben. Die förderwirksamen Strukturen 20 sind in diesem Fall in der Deckschicht eingebracht. Die Deckschicht verhindert ein eventuelles Aufstellen bzw. Ausfransen der

gerichteten Kohlefäsern der aufeinander geschichteten Gelege an der Stirnfläche 17 des Gleitringes 1. Wenn erwünscht, kann eine derartige Deckschicht auch an der gegenüberliegenden Stirnfläche 18 des Gleitringes 1 vorgesehen werden.

Im Falle eines Gleitringes 1 aus einem mit ungerichteten Fäden aus Kohlefäsern verstärkten SiC-Verbundmaterial ist dessen mechanisches Verhalten im Wesentlichen richtungsunabhängig. Die Gleitringe 1 eignen sich daher aufgrund ihrer geringeren mechanischen Festigkeit vornehmlich zum Einsatz im Niederdrehzahlbereich des Strahltriebwerkes, wo geringere Zentralfugalkräfte zur Wirkung kommen. Sofern die Länge der Kohlefäsern gleich oder grösser 5 mm ist, vorzugsweise zwischen 15 und 25 mm beträgt, sind für derartige Anwendungen ausreichende mechanische Eigenschaften gewährleistet.

Die Kohlenstofffasern sollten einen Durchmesser kleiner 15 µm, vorzugsweise zwischen 2 und 12 µm haben, da mit geringer werdendem Durchmesser verbesserte mechanische Eigenschaften der Fasern einhergehen.

Ferner sollte der Anteil der Kohlefäsern im SiC-Verbundmaterial zwischen 45 und 65, vorzugsweise zwischen 50 und 60 Vol. % betragen.

Es wurde ferner festgestellt, dass anstelle von Kohlefäsern auch Siliciumfasern als Verstärkung bei einem Verbundmaterial auf Basis eines SiC-Keramikmaterials verwendet werden können.

Beispiel:

Es wurde ein Verbundmaterial aus gerichteten Kohlefäsern als Verstärkung und einer SiC-Matrix nach einem bekannten Verfahren hergestellt, indem Gelege aus Kohlefäsern mit einer mittleren Länge von 70 mm, ein Pulver aus Kohlenstoff und eine Kohlenstoffharz zu einer pressfähigen Masse geschichtet und die Schichtanordnung

formverpresst wurde. Anschliessend wurde eine Karbonisierung bei einer Temperatur von ca. 900°C unter Umwandlung des Harzes in Kohlenstoff durchgeführt. Es entstand eine poröse Struktur mit Hohlräumen. In diese wurde flüssiges Silizium eindringen gelassen, das bei Temperaturen von ca. 1500 °C in SiC umgewandelt wurde, wodurch die Kohlefasern in SiC eingebettet wurden. Ein typischer nach diesem Verfahren hergestellter Rohling für den Gleitring 1 hat eine Dichte von 1,45 Kg/dm³, einen Elastizitätsmodul von 53 KN/mm², eine Zugfestigkeit von 265 KN/mm² und eine Wärmedehnung von 1×10^{-6} 1/K. Der Faseranteil betrug 55 Vol.%. Aus dem so erhaltenen Verbundmaterial wurde ein Gleitring 1 mit folgenden Abmessungen herausgeschnitten: Durchmesser innen: 130 mm, aussen: 170mm, Dicke 13 mm. Die Duktilität des Gleitringes 1 war vergleichbar mit dem eines bekannten Gleitringes aus einem Stahlmaterial. Das Gewicht des Verbundgleitringes betrug nur etwa. 1/5 desjenigen eines Stahlgleitringes.

Falls es erwünscht ist, eine Deckschicht, wie vorbeschrieben, an einer der Stirnflächen 17, 18 des Gleitringes 1 anzuordnen, wird zusätzlich zu dem geschichtete Gelege aus gerichteten Kohlefasern eine dünne Lage aus einem Gemisch aus ungerichteten Kohlefasern, einem Pulver aus Kohlenstoff und einen Kohlenstoffharz an der Stirnfläche angelegt und zusammen mit dem Schichtgelege in der erwähnten Weise weiterbehandelt.

Praxisnahe Tests an einer gasgeschmierten Gleitringdichtungsanordnung mit einem rotierenden Gleitring in Gestalt eines erfindungsgemässen Verbundgleitringes mit förderwirksamen spiralförmig verlaufenden Strukturen in seiner Gleitfläche zeigten über die gesamte ausgedehnte Testdauer keine Sprödbrüche der SiC-Matrix, so dass der Gleitring in Bezug auf seine Sicherheitsfunktion einem solchen aus einem Stahlmaterial wenigstens ebenbürtig ist. Der Verschleiss war jedoch wesentlich geringer, und ferner brauchte keine Kühlung des Verbundgleitringes vorgesehen werden, während die bekannten Stahlgleitringe zur Kühlung von einem Kühlmedium durchströmte Kühlkanäle enthalten müssen.

Ansprüche

1. Zur gemeinsamen Drehung mit einer Triebwerkswelle ausgelegter Gleitring (1) einer Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke, dadurch gekennzeichnet, dass dieser aus einem ein faserverstärktes Keramikmaterial umfassenden Verbundmaterial gebildet ist.
2. Gleitring nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkungsfasern aus einer Kohle- und SiC-Fasern umfassenden Verstärkungsfasergruppe gewählt sind.
3. Gleitring nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Keramikmaterial ein SiC-Material umfasst.
4. Gleitring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Verstärkungsfaseranteil des Verbundmaterials zwischen 45 und 65 Vol. %, vorzugsweise zwischen 50 und 60 Vol. % beträgt.
5. Gleitring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbundmaterial ungerichtete Verstärkungsfasern mit einer Länge grösser 5 mm, vorzugsweise zwischen 15 und 25 mm umfasst.
6. Gleitring nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbundmaterial gerichtete Verstärkungsfasern umfasst.
7. Gleitring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser der Verstärkungsfasern kleiner 15 µm, vorzugsweise zwischen 2 und 12 µm beträgt.

8. Gleitring nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Verstärkungsfasergewebe vorgesehen ist.
9. Gleitring nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine durch einen Faserwickelvorgang geschaffene Faserverstärkung vorgesehen ist.
10. Gleitring nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Deckschicht aus einem faserverstärkten SiC-Verbundmaterial auf wenigstens einer der gegenüberliegenden Stirnflächen (17,18) des Gleitringes (1) vorgesehen ist, wobei die Verstärkungsfasern der Deckschicht ungerichtet sind.
11. Gleitring nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Deckschicht zwischen 0,1 und 1,0 mm, vorzugsweise 0,25 und 0,5 mm, beträgt.
12. Gleitring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens in einer der Stirnflächen (17,18) des Gleitringes (1) bzw. der mit der Deckschicht versehenen Stirnfläche (17) eine Gleitfläche (13) mit darin eingebrachten förderwirksamen Strukturen (20) ausgebildet ist.
13. Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke mit wenigstens einem Paar zusammenwirkender Gleitringe (1,2), von denen einer zur drehfesten Montage an einem stationären Bauteil und der andere zur gemeinsamen Drehung mit einer Triebwerkswelle ausgelegt ist, gekennzeichnet durch eine Werkstoffpaarung für die Gleitringe (1,2), die ein reibungsminimierend wirksames Material für den drehfesten Gleitring (2) und ein Verbundmaterial aus einem faserverstärkten Keramikmaterial für den drehenden Gleitring (1) umfasst.
14. Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbundmaterial ein Kohle- oder SiC-faser verstärktes SiC-Verbundmaterial ist.

15. Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das reibungsminimierend wirksame Material ein Kohlenstoffmaterial ist.
16. Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass für den Einsatz im Niederdruckbereich des Strahltriebwerkes das Verbundmaterial ungerichtete Verstärkungsfasern mit einer Länge grösser 5 mm, vorzugsweise zwischen 15 und 25 mm umfasst.
17. Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass für den Einsatz im Hochdruckbereich des Strahltriebwerkes das Verbundmaterial gerichtete Verstärkungsfasern umfasst.
18. Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke nach Ansprache 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine Deckschicht aus einem faserverstärkten SiC-Verbundmaterial auf wenigstens derjenigen der gegenüberliegenden Stirnflächen (17,18) des drehenden Gleitringes (1) vorgesehen ist, an dem eine Gleitfläche (13) ausgebildet ist, wobei die Verstärkungsfasern der Deckschicht ungerichtet sind.
19. Gleitringdichtungsanordnung für Strahltriebwerke nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass in einer bzw. der Gleitfläche (13) des drehenden Gleitringes (1) förderwirksame Strukturen (20) eingebracht sind.

BEST AVAILABLE COPY

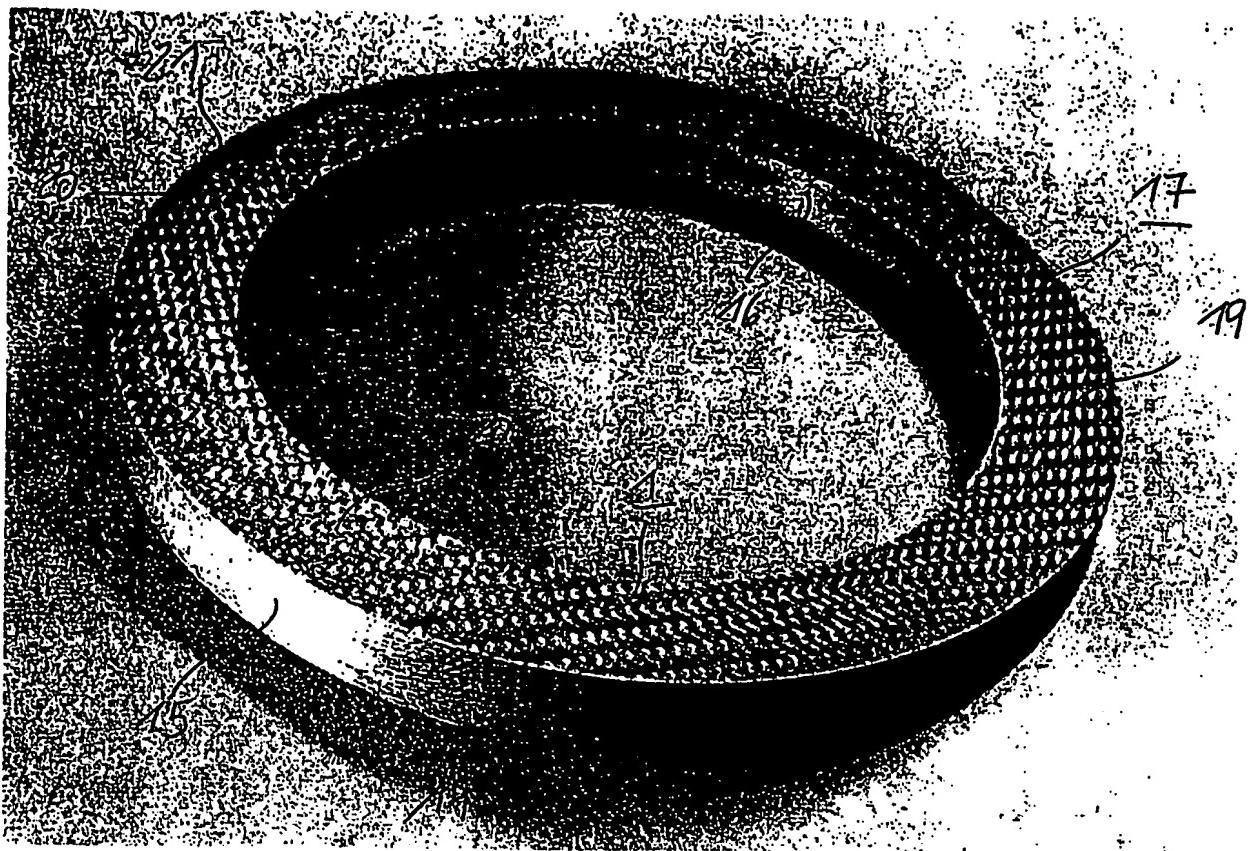


Fig. 1

Fig. 2

